

Санкт-Петербургский государственный университет

В.В. Монахов, О.В. Огинец, С.Н. Жоголь, М.Г. Яковлева

**ИССЛЕДОВАНИЕ R-L-C ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ТОКА С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА СБОРА
ДАННЫХ NI myDAQ**

Учебно-методическое пособие

Санкт-Петербург
2017

ББК 32.973.26-018.2

ВЗ11я43+з973.2-018я43

Рецензенты: доктор физ.-мат. наук, профессор С.Л.Яковлев,
старший преподаватель А.Г.Смирнов

Печатается по решению методической комиссии физического факультета СПбГУ

В.В. Монахов, О.В. Огинец, С.Н. Жоголь, М.Г.Яковлева

ВЗ11я43+з973.2-018я43 Исследование R-L-C цепей электрического тока с помощью устройства сбора данных NI myDAQ: Учебно-методическое пособие. – СПб: ЛЕМА, 2017. – 22 с.: ил.

Учебно-методическое пособие содержит описание лабораторной работы, проводимой в лаборатории автоматизированного практикума по физике в рамках дисциплины «Физический практикум» для студентов 2 курса бакалавриата, обучающихся на образовательных программах «Физика», «Радиофизика», «Прикладная физика и математика» СПбГУ. Может быть полезно для студентов других вузов, изучающих автоматизацию физического эксперимента.

УДК 681.3.068
ББК 32.973.26-018.2

СОДЕРЖАНИЕ

1. Теоретическая часть	3
1.1. Амплитудно-частотная и фазовая частотная характеристика.....	3
Определение АЧХ и ФЧХ.....	3
АЧХ и ФЧХ RC-цепей	3
1.2. Коэффициент передачи по мощности	7
1.3. Последовательная RLC - цепь. Резонанс напряжений.....	8
2. Экспериментальная установка и программное обеспечение	10
3. Контрольные вопросы.....	13
4. Задания.....	14
Задание 1. Исследование последовательной RC – цепи	14
Задание 1.1. Исследование распределения токов и напряжений в последовательной RC-цепи.	14
Задание 1.1.1 Исследование последовательной RC-цепи на одной частоте.....	14
Задание 1.1.2. Исследование последовательной RC-цепи при разных частотах	16
Задание 1.2. Исследование АЧХ и ФЧХ последовательной RC-цепи.....	16
Задание 1.2.1. Исследование АЧХ и ФЧХ интегрирующей RC-цепи	16
Задание 1.2.1.1. Исследование АЧХ и ФЧХ интегрирующей RC-цепи для первой пары элементов R и C.....	17
Задание 1.2.1.2. Исследование АЧХ и ФЧХ интегрирующей RC-цепи для второй пары элементов R и C.....	17
Задание 1.2.2. Исследование АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC-цепи	18
Задание 1.2.2.1. Исследование АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC-цепи для первой пары элементов R и C.....	18
Задание 1.2.2.2. Исследование АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC-цепи для второй пары элементов R и C.....	18
Задание 2. Исследование последовательной RL– цепи	19
Задание 2.1. Исследование последовательной RL-цепи из первого набора параметров на разных частотах	19
Задание 2.2. Исследование последовательной RL-цепи из второго набора параметров на разных частотах	20
Задание 3. Исследование последовательной RLC – цепи. Резонанс напряжений	20
Задание 3.1.....	20

1. Теоретическая часть

Данная работа не ставит своей задачей изучение цепей переменного тока, теория которых достаточно сложна. Цель работы состоит в том, чтобы познакомить студентов с измерениями токов, напряжений, а также АЧХ и ФЧХ с помощью виртуальных приборов NI ELVISmx с использованием LabView как средства для работы с внешними устройствами, подключенными к компьютеру. В практических заданиях проводятся измерения и обработка результатов на примере RC-цепей, RL- цепей и последовательной RLC – цепи.

1.1. Амплитудно-частотная и фазовая частотная характеристика

Определение АЧХ и ФЧХ

В цепи, состоящей из источника гармонически изменяющегося переменного напряжения и элементов R , L , C изменение частоты приводит к изменению параметров цепи. Меняется ее реактивное и полное сопротивление, а следовательно, распределение и сдвиги фаз токов и напряжений на отдельных элементах цепи. Зависимости различных параметров цепи от частоты называются частотными характеристиками цепи. Зависимости действующих или амплитудных значений тока или напряжения от частоты называются резонансными кривыми.

Частотная характеристика представляет собой комплексную функцию частоты, записанную в виде модуля и аргумента.

АЧХ (амплитудно-частотная характеристика) описывает зависимость модуля комплексной функции от частоты, а ФЧХ (фазо-частотная характеристика) – зависимость ее аргумента от частоты.

АЧХ и ФЧХ RC-цепей

Представим RC-цепь, состоящую из резистора с сопротивлением R и конденсатора с емкостью C , в виде четырехполюсника. Возможны два варианта такого представления: интегрирующая RC-цепь (рис.1.1) и дифференцирующая RC-цепь (рис.1.2)

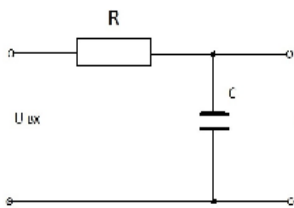


Рис.1.1 Интегрирующая RC-цепь

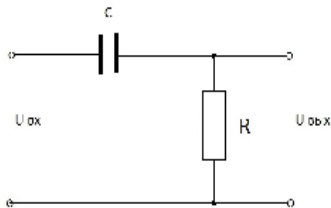


Рис.1.2 Дифференцирующая RC-цепь

Интегрирующая RC-цепь

Для интегрирующей цепи зависимость выходного напряжения $U_{\text{вых}}(t)$ от входного $U_{\text{вх}}(t)$ имеет вид:

$$U_{\text{вых}}(t) \approx 1/RC \int U_{\text{вх}}(t) dt \quad (1.1)$$

Зависимость выходного напряжения $U_{\text{вых}}(t)$ от входного $U_{\text{вх}}(t)$ для дифференцирующей цепи:

$$U_{\text{вых}}(t) \approx RC dU_{\text{вх}}(t)/dt \quad (1.2)$$

Формулы для действующего напряжения и сдвига фазы на конденсаторе для интегрирующей RC - цепи были получены в лабораторной работе №4 (раздел 1.2 Примеры)

Модуль комплексного коэффициента передачи по напряжению интегрирующей RC-цепи (АЧХ) имеет вид

$$K_U(\omega) = 1/\sqrt{1+(\omega RC)^2} = 1/\sqrt{1+(2\pi f RC)^2} \quad (1.3)$$

Аргумент комплексного коэффициента передачи (ФЧХ)

$$\varphi(\omega) = -\arctg(\omega RC) = -\arctg(2\pi f RC) \quad (1.4)$$

Графики функций АЧХ и ФЧХ, соответствующие формулам (1.3) и (1.4) приведены на рис.1.3 и рис.1.4. Переменная частота f на обоих графиках берется в логарифмическом масштабе.

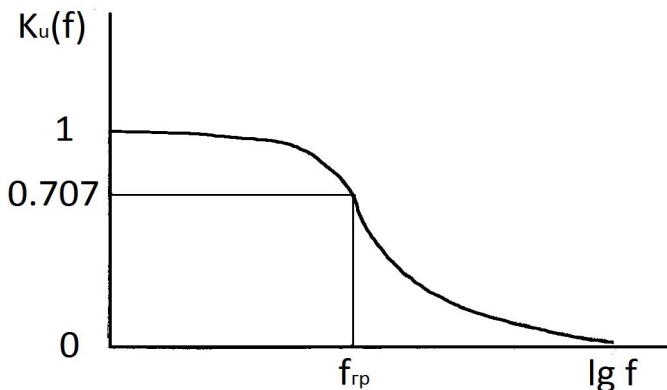


Рис.1.3. АЧХ интегрирующей RC-цепи

Принято оценивать комплексный коэффициент передачи цепи на, так называемой, граничной частоте или частоте среза, равной

$$f_{гр} = 1 / 2\pi RC = 1 / 2\pi\tau, \quad (1.5)$$

где $\tau = RC$ – постоянная времени цепи.

На граничной частоте реактивное сопротивление конденсатора X_c становится равным сопротивлению $R = 1/2\pi C f_{гр}$. Частоте $f = f_{гр}$ соответствует значение подкоренного выражения в формуле (1.3) равное двум и модуль коэффициента передачи $K_U = 0.707$ (рис.1.3).

На графике ФЧХ частоте $f = f_{гр}$ соответствует угол (аргумент) $\varphi = - 45^\circ$ (рис.1.4).

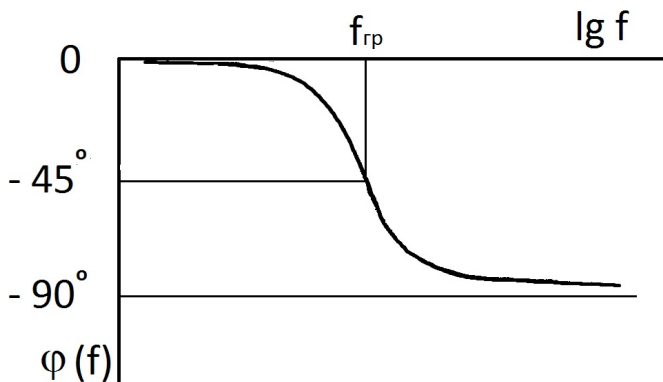


Рис.1.4. ФЧХ интегрирующей RC-цепи

Из графиков (рис.1.3 и 1.4) видно, что при дальнейшем увеличении частоты $f > f_{гр}$ модуль коэффициента передачи стремится к нулю $K_U \rightarrow 0$, а угол (аргумент) $\varphi \rightarrow -90^\circ$.

Из анализа графиков можно сделать вывод, что интегрирующая RC-цепь является фильтром нижних частот с полосой пропускания по уровню 0.707 в диапазоне частот от 0 до $f_{гр}$.

Дифференцирующая RC-цепь

Модуль комплексного коэффициента передачи по напряжению (АЧХ) и аргумент комплексного коэффициента передачи (ФЧХ) дифференцирующей RC-цепи, соответственно, имеют вид:

$$K_U(\omega) = \omega RC / \sqrt{1 + (\omega RC)^2} = 2\pi f RC / \sqrt{1 + (2\pi f RC)^2} \quad (1.6)$$

$$\varphi(\omega) = 90^\circ - \arctg(\omega RC) = 90^\circ - \arctg(2\pi f RC) \quad (1.7)$$

Графики АЧХ и ФЧХ для дифференцирующей RC-цепи приведены соответственно на рис.1.5 и рис.1.6. На графике АЧХ видно, что граничной частоте соответствует модуль коэффициента передачи $K_U=0,707$. На графике ФЧХ этой же частоте соответствует угол $\varphi=45^\circ$. При дальнейшем увеличении частоты модуль коэффициента стремится к единице $K_U \rightarrow 1$, а угол (аргумент) стремится к нулю $\varphi \rightarrow 0^\circ$. Анализируя график АЧХ, можно сделать вывод, что дифференцирующая RC-цепь является фильтром верхних частот с полосой пропускания по уровню 0,707 от $f_{гр}$ до бесконечности.

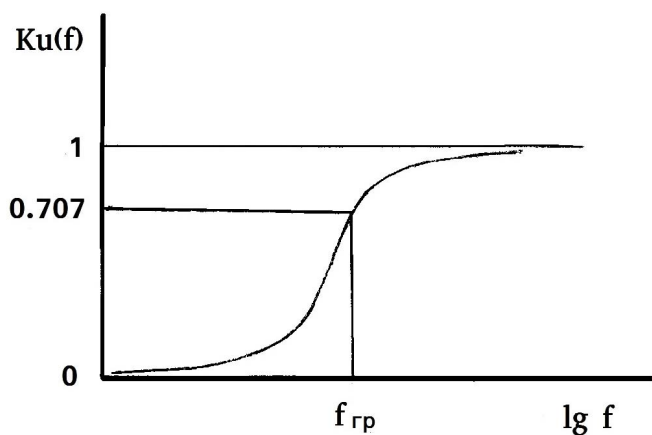


Рис.1.5. АЧХ дифференцирующей RC-цепи

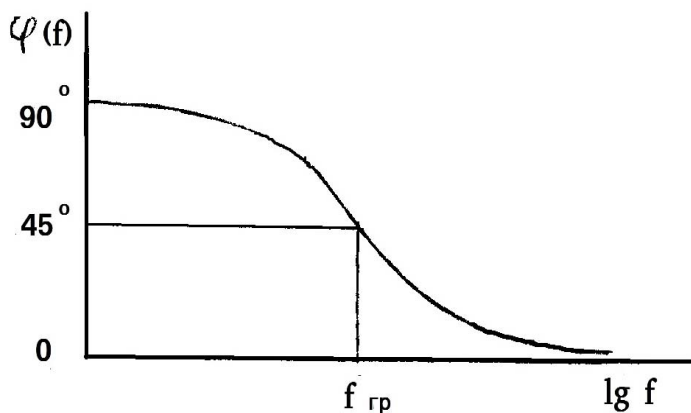


Рис.1.6. ФЧХ дифференцирующей RC-цепи

1.2. Коэффициент передачи по мощности

В различных областях для измерения отношения физических величин в широком диапазоне используется безразмерная единица децибел.

Децибел (дБ) — десятая часть Бела, то есть десятая часть логарифма безразмерного отношения физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную. Величина, выраженная в дБ, обычно предполагает логарифм отношения двух мощностей и вычисляется по формуле:

$$\text{дБ} = 10 \lg(P_1/P_0), \quad (1.8)$$

где P_1/P_0 - отношение значений двух мощностей: измеряемой P_1 к так называемой опорной P_0 .

В лабораторной работе №4 было дано понятие четырехполюсника и для простых цепей определялась его важная характеристика – коэффициент передачи по напряжению. Для четырехполюсника используют также понятие коэффициента передачи по мощности

$$K_p = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}, \quad (1.9)$$

где $P_{\text{вых}}$ - мощность сигнала на выходе четырехполюсника

$P_{\text{вх}}$ - мощность сигнала на входе четырехполюсника

Поскольку коэффициент передачи изменяется в значительном диапазоне, часто используют логарифмическое представление, т.е.

$$L_p = 10 \lg(P_1/P_0) = 10 \lg (P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}), \text{ дБ.} \quad (1.10)$$

При одинаковых сопротивлениях нагрузки с учетом закона Джоуля-Ленца можно выразить эту величину через отношение выходного и входного напряжений

$$L_p = 20 \lg (U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}) \quad (1.11)$$

Такое представление коэффициента передачи используют в данной лабораторной работе при измерении АЧХ в децибелах виртуальным анализатором Боде.

1.3. Последовательная RLC - цепь. Резонанс напряжений

Рассмотрим электрическую цепь, составленную из последовательно соединенных резистивного элемента R, индуктивности L и емкости C, подключенных к источнику напряжения, э.д.с. которого изменяется по гармоническому закону $E_0 = E_0 e^{i\varphi_0 t}$ (рис.1.7).

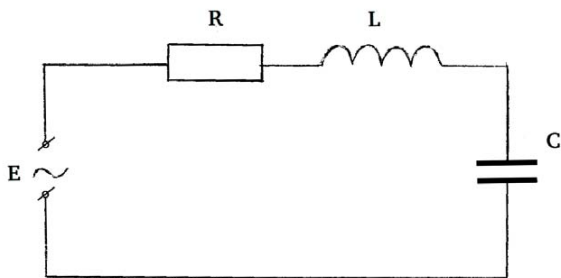


Рис.1.7. Последовательная RLC – цепь

Будем считать, что резистивный элемент R учитывает активное сопротивление а также потери в реактивных элементах.

При последовательном соединении элементов складываются их импедансы, поэтому полный комплексный импеданс цепи

$$Z = Z_R + Z_C + Z_L = R + X = R + 1/i\omega C + i\omega L = Z e^{i\varphi} ,$$

$$\begin{aligned} \text{где } Z &= \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} && - \text{модуль импеданса,} \\ X &= 1/i\omega C + i\omega L && - \text{реактивное сопротивление} \\ \varphi &= \arctg ((\omega L - 1/\omega C)/R) && - \text{фаза импеданса} \end{aligned} \quad (1.12)$$

Комплексная амплитуда тока в контуре $I_0 = E_0 / Z$, а измеряемое

действующее значение тока

$$I_d = E_d / \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \quad (1.13)$$

Зависимость реактивного сопротивления последовательной RLC - цепи от частоты приведена на рис.1.8

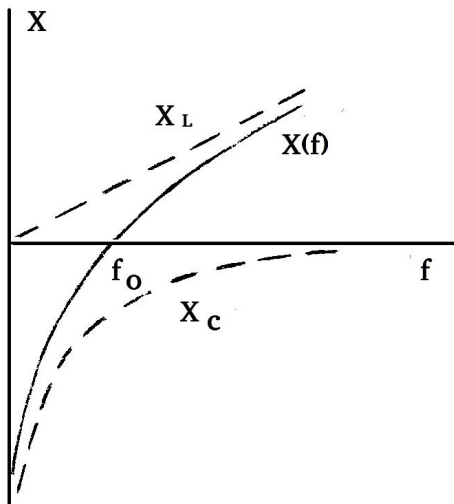


Рис 1.8. Зависимость реактивного сопротивления последовательной RLC – цепи от частоты.

Когда $\omega \rightarrow 0$, емкостное сопротивление $X_C \rightarrow \infty$, ток в цепи и напряжение индуктивного элемента равны нулю, а напряжение на конденсаторе $U_C = U_{вх}$. При $\omega \rightarrow \infty$ индуктивное сопротивление $X_L \rightarrow \infty$, поэтому ток в цепи тоже равен нулю, а емкостный элемент эквивалентен короткому замыканию.

При изменении частоты ω от 0 до ∞ реактивное сопротивление цепи изменяется от $-\infty$ до $+\infty$, следовательно, есть частота $\omega = \omega_p$, при которой реактивное сопротивление $X=0$. Эта частота называется резонансной, поскольку при $\omega = \omega_p$ реактивное индуктивное сопротивление X_L по абсолютной величине равно реактивному емкостному X_C , полное сопротивление цепи имеет минимальное значение и определяется сопротивлением резистивного элемента R , а ток в цепи достигает максимального значения. Резонансную частоту можно определить из условия ($\omega_p L - 1/\omega_p C = 0$), откуда

$$\omega_p = 1/\sqrt{LC} \quad (1.14)$$

На резонансной частоте действующее значение тока $I_d = E_d / R$, а действующие значения напряжения на индуктивности и конденсаторе равны по абсолютной величине и противоположны по знаку. Это явление называется резонансом напряжений. Пример зависимости напряжения на отдельных элементах последовательной RLC - цепи от частоты показан на рис.1.9.

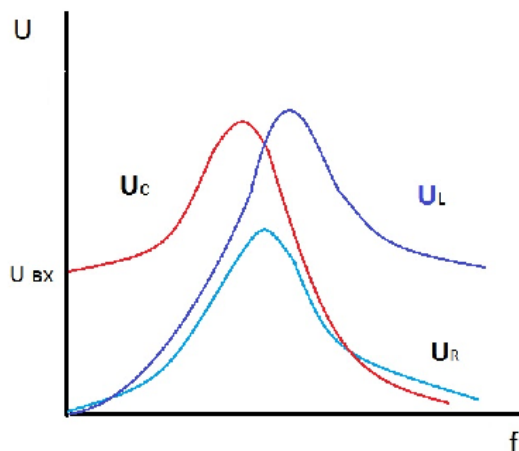


Рис.1.9. Зависимость напряжения на элементах последовательной RLC - цепи от частоты.

Такие зависимости $U_{R,L,C}(\omega)$ называют частотными или резонансными характеристиками цепи. Из рисунка 1.9 видно, что при резонансе напряжения на конденсаторе U_C и индуктивности U_L становятся больше входного $U_{ВХ}$. При резонансе сумма энергий магнитного и электрического полей не изменяется с течением времени, происходит лишь непрерывный переход энергии из электрического поля в магнитное и обратно. Энергия, поступающая в цепь от источника питания, при резонансе в любой момент времени целиком переходит в тепло.

2. Экспериментальная установка и программное обеспечение

Общий вид экспериментальной установки для выполнения лабораторной работы показан на рис.2.1

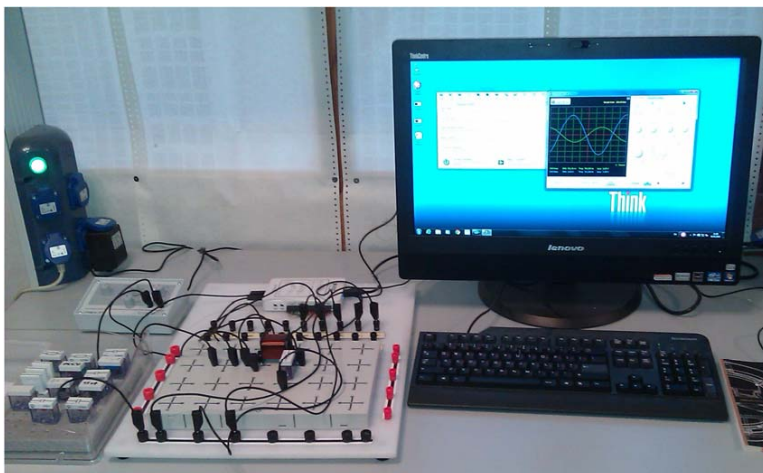


Рис.2.1. Общий вид экспериментальной установки для изучения частотных характеристик простых цепей переменного тока

Установка состоит из следующих частей:

1) Компьютер с предустановленным программным обеспечением National

Instruments.

2) Модуль NI myDAQ (DAQ – Data Acquisition, сбор данных), подключаемый к USB-порту компьютера.

3) Виртуальные приборы на основе NI myDAQ:

- цифровой мультиметр DMM (Digital MultiMeter),
- функциональный генератор сигналов FGEN (Functional Generator),
- осциллограф (Scope),
- анализатор Боде (Bode).

4) источник переменного напряжения S12 фирмы LD Didactic GmbH.

5) Наборная панель и устанавливаемые на неё элементы (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивностей, переключки).

Номиналы используемых в лабораторной работе элементов:

R: 47ом; 100ом; 330ом; 1ком; 1.5ком; 2,2ком,

C: 1мкФ; 0.1 мкФ; 10нФ.

6) Соединительные кабели и провода.

Для запуска приборов перейдите в меню *Пуск/ Все программы/ National Instruments/ NI ELVISmx for NI ELVIS& NI myDAQ/ NI ELVISmx Instrument Launcher*. Откроется виртуальная панель приборов NI ELVISmx, на которой находятся соответствующие иконки. Цифровой мультиметр DMM, функциональный генератор сигналов FGEN и осциллограф Scope уже использовались в лабораторной работе №4. Для измерения частотных характеристик в работе применяется виртуальный частотно-фазовый анализатор Боде. Для запуска анализатора выберите на виртуальной панели

иконку Bode.

В анализаторе Боде для создания осциллограммы используется функциональный генератор на основе цифро-аналогового преобразователя NI myDAC. Выходные разъемы (разъемы AO0) NI myDAC необходимо присоединить ко входам исследуемой схемы, а также к контактам AI0 и к земле как показано на рис. 2.2. на примере интегрирующей RC-цепочки. Выход схемы подается на вход цифрового осциллографа на основе NI myDAC, а именно, на его вход AI1+. вход AI1- необходимо подключить к земле (рис. 2.2).

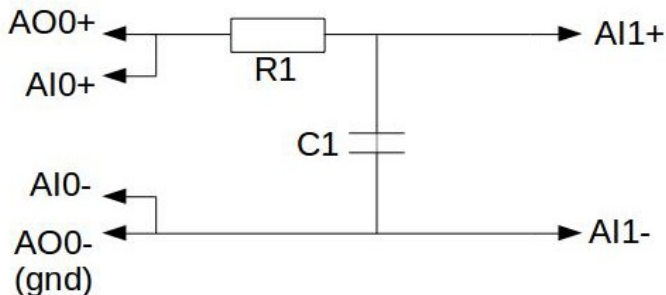


Рис. 2.2. Схема для измерения АЧХ и ФЧХ сигнала с интегрирующей RC-цепочки

Все начальные установки производятся в разделе Measurement Settings анализатора Боде (рис. 2.3): Start Frequency- нижняя граница частоты, Stop Frequency — верхняя граница. Поле Steps задает число шагов на декаду – т.е. число точек на АЧХ и ФЧХ при изменении частоты в 10 раз. Поле Peak Amplitude задает амплитуду выходного сигнала функционального генератора NI myDAC.

Прибор строит два графика: график АЧХ (амплитудно-частотной характеристики) и график ФЧХ (фазо-частотной характеристики).

На графике АЧХ строится отношение $U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ в децибелах (шкала Logarithmic) либо в относительных единицах (шкала Linear). Выбор шкалы осуществляется в поле Mapping. На графике ФЧХ откладывается зависимость разности фаз между выходным и входным сигналами от частоты. Частота на обоих графиках отображается в логарифмическом масштабе.

Пример работы прибора для интегрирующей RC-цепочки представлен на рис. 2.3.

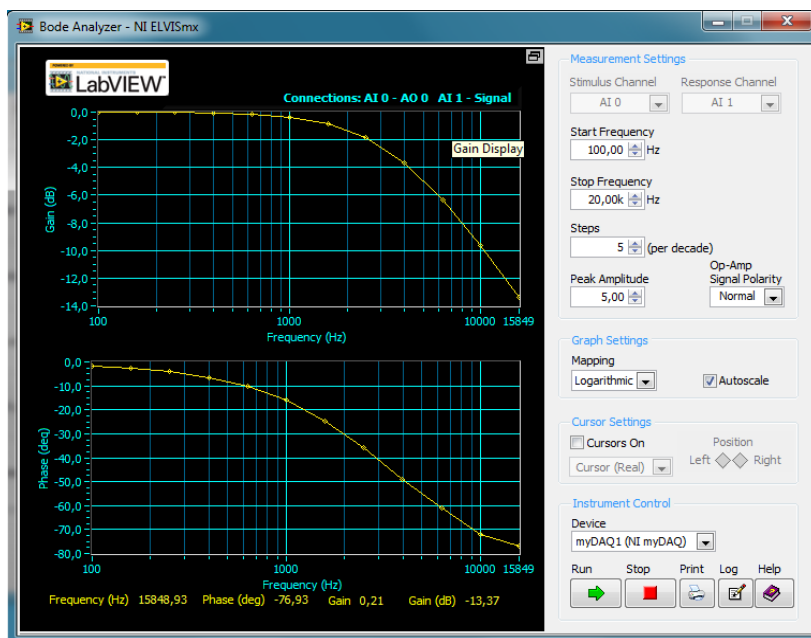


Рис. 2.3. Работа анализатора Боде для интегрирующей RC-цепочки

При выполнении всех последующих задач результаты измерений в виде таблиц, графики, результаты обработки и комментарии к ним сохраните в отчете к лабораторной работе №5 в сетевой папке проекта.

3. Контрольные вопросы

1. Как связаны между собой размах, максимальное и действующее значения напряжения для гармонической формы сигнала?
2. Что видит наблюдатель на экране осциллографа? Какие характеристики сигнала можно определить по наблюдаемой картине?
3. Нарисуйте дифференцирующую RC-цепь. Интегрирующую RC-цепь. Для каких характерных длительностей импульсов или их фронтов первая цепь будет дифференцирующей? Вторая – интегрирующей? Вставь фразу в теоретическую часть, я об этом не писала, но наверное в первом приближении полезно.
4. Какие частотные характеристики можно измерить для RC-цепи? Что они означают? Как они выглядят?
5. Как зависит от частоты модуль комплексного коэффициента передачи по напряжению интегрирующей RC-цепи? дифференцирующей RC-цепи?
6. Как зависит от частоты аргумент комплексного коэффициента передачи по напряжению интегрирующей RC-цепи? дифференцирующей RC-цепи?

7. Чему равна реактивная составляющая импеданса RC-цепи на граничной частоте?
8. Что называется коэффициентом передачи цепи по мощности?
9. В каких единицах измеряется амплитуда на АЧХ RC-цепи в виртуальном анализаторе Бode?
10. Какие частотные характеристики можно измерить для последовательной RLC- цепи?
11. Какие резонансные кривые можно наблюдать для последовательной RLC- цепи ?
12. Как изменяется модуль тока в последовательной RLC- цепи при изменении частоты?
13. Каким параметром определяется полное сопротивление RLC- цепи при резонансе напряжений ?
14. Напишите выражение для резонансной частоты RLC- цепи.

4. Задания

Задание 1 . Исследование последовательной RC – цепи

Задание 1.1. Исследование распределения токов и напряжений в последовательной RC-цепи.

В рабочей тетради

Нарисуйте цепь переменного тока, состоящую из последовательно соединенных резистора, конденсатора, генератора переменного напряжения и измерительных приборов.

Измерения:

Запустите на рабочем столе из программы NI ELVISmx осциллограф Scope и цифровой мультиметр DMM. Соберите на наборной панели RC-цепь переменного тока. В качестве источника напряжения используйте генератор S12. Ток измеряйте с помощью DMM, а напряжение с помощью осциллографа Scope.

Задание 1.1.1 Исследование последовательной RC-цепи на одной частоте

Подключите входы осциллографа AI0 и AI1 к выходам генератора S12 и к пластинам конденсатора так, как показано на рис.2.4. Подсоедините клемму AGND NI myDAC к клемме «земля» генератора S12.

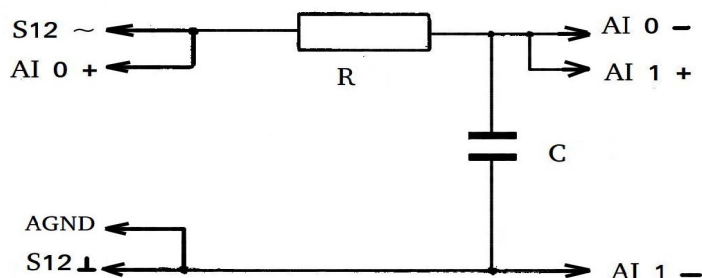


Рис.2.4 Схема для измерения напряжения на элементах последовательной RC-цепи.

Выберите сопротивление $R=47\text{ Ом}$. Установите на генераторе частоту $f \sim 5000\text{ Гц}$ и максимальную амплитуду входного напряжения U_{pp} . При дальнейших измерениях следите за тем, чтобы входной синусоидальный сигнал с генератора не был искажен. Чтобы убрать возможные искажения, вы можете менять частоту сигнала, уменьшить амплитуду напряжения U_{pp} или включить в цепь дополнительное сопротивление (не забудьте учесть его при расчетах). Для нескольких конденсаторов с различными емкостями C проведите измерения следующих величин: напряжение на сопротивлении U_R , напряжение на конденсаторе U_C , ток в цепи I . (Чтобы получить емкость $C=0,82\text{ мкФ}$, используйте имеющиеся в вашем распоряжении емкости $C=1\text{ мкФ}$ и $C=4.7\text{ мкФ}$). Результаты занесите в Таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Последовательная RC-цепь с различными конденсаторами

Параметры цепи			Измеренные значения			Расчетные значения			
f, Гц	R, Ом	C, мкФ	$U_R, \text{ В}$	$U_C, \text{ В}$	$I, \text{ mA}$	$Z_C = U_C / I, \text{ Ом}$	$Z_C = 1 / (2\pi f C), \text{ Ом}$	$\text{tg}\varphi = Z_C / R$	$\varphi, \text{ Град}$
		0.01							
		0.2							
		0.47							
		0.82							
		1							

Обработка результатов измерений

- 1) Для каждого конденсатора рассчитайте и занесите в таблицу 1.1 значения Z_c , полученные по результатам измерений тока и напряжения и теоретической формулы для Z_c .
- 2) По данным $Z_c = V_c / I$ постройте графики зависимости $Z_c(C)$ и $Z_c(1/C)$. Из второго графика определите угол наклона K и сравните его с теоретическим $K = 1/2\pi f$.
- 3) Рассчитайте значения $\operatorname{tg} \varphi$ и сдвига фаз φ между током I и напряжением в RC-цепи, результаты занесите в таблицу 1.1
- 4) Постройте векторную диаграмму тока и напряжения на конденсаторе с $C = 0.2 \mu\text{Ф}$ для частоты $f = 5000 \text{ Гц}$.

Задание 1.1.2. Исследование последовательной RC-цепи при разных частотах

Выберите сопротивление $R = 470 \Omega$ и конденсатор $C = 1 \mu\text{Ф}$.

Измерения:

Воспользуйтесь схемой подключения выходов осциллографа из Задания 1.1.1. Для последовательной RC-цепи в диапазоне частот $f \sim 100 \div 6000 \text{ Гц}$ проведите измерения следующих величин: напряжение на сопротивлении U_R , напряжение на конденсаторе U_c , ток в цепи I . Результаты занесите в таблицу 1.2.

Таблица 1.2. Последовательная RC-цепь на различных частотах

Параметры цепи			Измеренные значения			Расчетные значения			
$C, \mu\text{Ф}$	R, Ω	$f, \text{Гц}$	$U_R, \text{В}$	$U_c, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$Z_c = U_c / I, \Omega$	$Z_c = 1 / 2\pi f C, \Omega$	$\operatorname{tg} \varphi = Z_c / R$	$\varphi, \text{град}$
		100							
		500							
								
		6000							

Обработка результатов измерений

- 1) Для каждой частоты рассчитайте и занесите в таблицу 1.2 значения Z_c , полученные по результатам измерений тока и напряжения и теоретической формулы для Z_c .

- 2) Рассчитайте значения $\text{tg}\varphi$ и сдвига фаз φ между током I и напряжением в RC-цепи, результаты занесите в таблицу 1.2
- 3) Постройте векторную диаграмму тока и напряжения на конденсаторе с $C=1\text{мкФ}$ для частоты $f=5000\text{Гц}$. Как зависит сдвиг фазы между напряжением и током в цепи от частоты?

Задание 1.2. Исследование АЧХ и ФЧХ последовательной RC-цепи

Задание 1.2.1. Исследование АЧХ и ФЧХ интегрирующей RC-цепи

В рабочей тетради

Нарисуйте цепь переменного тока, состоящую из последовательно соединенных резистора, конденсатора, генератора переменного напряжения и измерительных приборов. В этом задании выходное напряжение $U_{\text{вых}}(t)$ снимается с конденсатора.

Измерения:

Запустите на рабочем столе из программы NI ELVISmx анализатор Bode Соедините на наборной панели RC-цепь переменного тока. Соедините входные и выходные разъемы приборов как показано на рис.2.2.

Задание 1.2.1.1. Исследование АЧХ и ФЧХ интегрирующей RC-цепи для первой пары элементов R и C

Выберите сопротивление $R=47\text{Ом}$ и конденсатор $C=1\text{мкФ}$. Установите нижнюю границу частоты (Start Frequency) $f_1=100\text{Гц}$, а верхнюю границу $f_2=6000\text{Гц}$. В поле Mapping выберите логарифмический масштаб (шкала Logarithmic). Запустите анализатор Bode кнопкой Run, получите АЧХ и ФЧХ интегрирующей RC-цепи. Повторите измерения, переключившись на линейную шкалу (шкала Linear).

Задание 1.2.1.2. Исследование АЧХ и ФЧХ интегрирующей RC-цепи для второй пары элементов R и C

Выберите другую пару элементов R и C и проведите измерения как в Задании 1.2.1.1.

Обработка результатов измерений

Полученные графики необходимо сохранить в отчете к лабораторной работе в сетевой папке проекта.

Для удобства анализа с разрешения преподавателя можно распечатать некоторые из полученных графиков.

1). Рассчитайте по формуле (1.5) граничную частоту (или частоту среза) $f_{\text{гр}}$ для первой пары элементов RC-цепи. Определите по полученному графику АЧХ значения модуля коэффициента передачи в логарифмическом представлении L_p на этой частоте и сравните его с теоретическим значением из формулы (1.3).

Каково значение модуля комплексного коэффициента передачи по

напряжению K_U (формула (1.3)) для $f_{гр}$ для первой пары элементов интегрирующей RC-цепи по результатам ваших измерений?

Какова полоса пропускания исследованной интегрирующей RC-цепи по уровню 0.707 (диапазон частот от 0 до $f_{гр}$) по данным ваших измерений?

2) Для найденного значения граничной частоты $f_{гр}$ определите по графику ФЧХ значение аргумента комплексного коэффициента передачи φ и сравните его с теоретическим значением по формуле (1.4).

3). Повторите расчеты раздела для второй пары элементов интегрирующей RC-цепи

Задание 1.2.2. Исследование АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC-цепи в рабочей тетради

Нарисуйте цепь переменного тока, состоящую из последовательно соединенных резистора, конденсатора, генератора переменного напряжения и измерительных приборов. В этом задании выходное напряжение $U_{вых}(t)$ снимается с резистора..

Измерения:

Запустите на рабочем столе из программы NI анализатор Bode.

Соберите на наборной панели RC-цепь переменного тока. Подумайте как соединить входные и выходные разъемы приборов для дифференцирующей RC-цепи.

Задание 1.2.2.1. Исследование АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC-цепи для первой пары элементов R и C

Выберите сопротивление $R=47\text{Ом}$ и конденсатор $C=1\text{мкФ}$. Установите нижнюю границу частоты (Start Frequency) $f_1=100\text{Гц}$, а верхнюю границу $f_2=6000\text{Гц}$. В поле Mapping выберите логарифмический масштаб (шкала Logarithmic). Запустите анализатор Bode кнопкой Run, получите АЧХ и ФЧХ интегрирующей RC-цепи. Повторите измерения, переключившись на линейную шкалу (шкала Linear).

Задание 1.2.2.2. Исследование АЧХ и ФЧХ дифференцирующей RC-цепи для второй пары элементов R и C

Выберите другую пару элементов R и C и проведите измерения как в Задании 1.2.2.1.

Обработка результатов измерений

Полученные графики необходимо сохранить в отчете к лабораторной работе в сетевой папке проекта.

Для удобства анализа с разрешения преподавателя можно распечатать некоторые из полученных графиков.

1). Рассчитайте по формуле (1.5) граничную частоту (или частоту среза) $f_{гр}$ для первой пары элементов дифференцирующей RC-цепи. Определите по полученному графику АЧХ значения модуля коэффициента передачи в

логарифмическом представлении L_p на этой частоте.

Каково значение модуля комплексного коэффициента передачи по напряжению K_U (формула (1.6)) для $f_{гр}$ для первой пары элементов дифференцирующей RC-цепи по результатам ваших измерений?

Какова полоса пропускания исследованной дифференцирующей RC-цепи по уровню 0.707 (диапазон частот от $f_{гр}$ до $f \rightarrow \infty$) по данным ваших измерений?

2) Для найденного значения граничной частоты $f_{гр}$ определите по графику ФЧХ значение аргумента комплексного коэффициента передачи ϕ и сравните его с теоретическим значением по формуле (1.7).

3). Повторите расчеты раздела для второй пары элементов дифференцирующей RC-цепи.

Задание 2 . Исследование последовательной RL– цепи

В рабочей тетради

Нарисуйте цепь переменного тока, состоящую из последовательно соединенных резистора R , катушки индуктивности L , генератора переменного напряжения и измерительных приборов.

Измерения:

Запустите на рабочем столе из программы NI ELVISmx осциллограф Scope и цифровой мультиметр DMM. Соберите на наборной панели RL-цепь переменного тока. В качестве источника напряжения используйте генератор S12. Напряжение на элементах цепи измеряется с помощью осциллографа Scope, а ток в цепи– с помощью цифрового мультиметра DMM.

Задание 2.1. Исследование последовательной RL-цепи из первого набора параметров на разных частотах

Включите в цепь катушку с числом витков $N=1000$. В лабораторной работе №4 были измерены параметры такой катушки: $L=17\text{Мгн}$, $R_a \sim 21\text{Ом}$. Выберите сопротивление резистора $R=47\text{Ом}$. Рассчитайте значение граничной частоты $f_{гр}$ для этих параметров RL – цепочки.

Замечание: граничная частота – это такая частота , при которой активное сопротивление цепи равно реактивному.

В диапазоне частот $f \sim 0.2 \div 3 f_{гр}$ (в зависимости от чувствительности приборов) проведите измерения тока I и напряжения на сопротивлении U_R и индуктивности U_L . Результаты занесите в таблицу 2.1.

Таблица 2.1. Последовательная RL -цепь для первого набора параметров на различных частотах

Измеренные значения				Расчетные значения	
Частота f , Гц	Ток I , мА	U_R , В	U_L , В	$\operatorname{tg}\varphi$	φ , град

Обработка результатов измерений

- 1) Для каждой частоты рассчитайте и занесите в таблицу 2.1 значения $\operatorname{tg}\varphi$ и сдвиг фазы φ между током I и напряжением в цепи.
- 2) Постройте векторную диаграмму тока и напряжения на индуктивности L для частоты $f = 5000$ Гц. Как зависит сдвиг фазы между напряжением U и током в цепи I от частоты?

Задание 2.2. Исследование последовательной RL -цепи из второго набора параметров на разных частотах

Включите в цепь катушку с числом витков $N=500$. В лабораторной работе №4 были измерены параметры такой катушки: $L=4.2$ мГн, $R_a \sim 3.9$ Ом. Выберите сопротивление резистора $R=47$ Ом. Рассчитайте значение граничной частоты $f_{гр}$ для этих параметров RL – цепочки.

Для диапазона частот $f \sim 0.2 \div 3 f_{гр}$ проведите измерения тока I и напряжения на сопротивлении U_R и индуктивности U_L . Результаты занесите в таблицу 2.2.

Таблица 2.2. Последовательная RL -цепь для второго набора параметров на различных частотах

Измеренные значения				Расчетные значения	
Частота f , Гц	Ток I , мА	U_R , В	U_L , В	$\operatorname{tg}\varphi$	φ , град

Обработка результатов измерений

- 1) Для каждой частоты рассчитайте и занесите в таблицу 2.2 значения $\operatorname{tg}\varphi$ и сдвиг фазы φ между током I и напряжением в цепи.
- 2) Постройте векторную диаграмму тока и напряжения на индуктивности L для частоты $f = 3000$ Гц.

Задание 3. Исследование последовательной RLC – цепи. Резонанс напряжений

Задание 3.1

В рабочей тетради

Нарисуйте цепь переменного тока, состоящую из последовательно соединенных резистора R, конденсатора C, катушки индуктивности L, генератора переменного напряжения и измерительных приборов. Напишите формулу для сдвига фаз между током и напряжением в такой цепи.

Измерения:

Запустите в одном окне на рабочем столе из программы NI ELVISmx осциллограф Scope и цифровой мультиметр DMM. В качестве источника напряжения используйте генератор S12. Напряжение на элементах цепи измеряется с помощью осциллографа Scope, а ток в цепи – с помощью цифрового мультиметра DMM.

Выберите из имеющегося набора элементов резистор $R=47\text{Ом}$, конденсатор $C=1\text{мкФ}$ и индуктивность $L=4.2\text{мГн}$. Рассчитайте значение граничной частоты $f_{гр}$ для этих параметров по формуле (1.14).

Соберите на наборной панели RLC-цепь переменного тока. Проведите измерения напряжения на каждом элементе цепи U_R , U_C , U_L и тока I в цепи для диапазона частот $f \sim 0.2 \div 3 f_{гр}$. Результаты занесите в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 Последовательная RLC – цепь

Измеренные значения				Расчетные значения	
Частота f , Гц	U_R , В	U_C , В	U_L , В	$\text{tg}\varphi$	φ , град

Обработка результатов измерений

Для проведения расчетов и построения графиков воспользуйтесь любой программой для работы с электронными таблицами, например, программой Excel.

1) Для каждой частоты рассчитайте и занесите в таблицу 3.1 значения $\text{tg}\varphi$ и сдвига фазы φ между током I и напряжением в цепи.

2) Постройте зависимости $U_R(f)$, $U_C(f)$, $U_L(f)$ на одном графике. При резонансе напряжений в точке пересечения зависимостей $U_C(f)$ и $U_L(f)$ определите значение граничной частоты $f_{гр}$. Сравните с теоретическим значением из формулы (1.11). Определите по графику напряжение U_R , сравните его с напряжением входного сигнала $U_{вх.}$. С какими причинами могут быть связаны расхождения?

3) Постройте векторные диаграммы тока и напряжения в последовательной RLC – цепи на частотах $f=0.5 f_{гр}$, $f=f_{гр}$ и $f=2 f_{гр}$

В.В. Монахов, О.В. Огинец, С.Н. Жоголь, М.Г. Яковлева

**Исследование R-L-C цепей электрического тока с помощью устройства сбора
данных NI myDAQ**

Учебно-методическое пособие

Издание прошло редакционно-корректорскую правку

Подписано в печать 27.12.2017 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 1,3. Тираж 50 экз.

Заказ № 4711

Отпечатано с готового оригинал-макета заказчика

в ООО «Издательство “ЛЕМА”»

199004, Россия, Санкт-Петербург, 1-я линия В.О., д.28

тел.: 323-30-50, тел./факс: 323-67-74

e-mail: izd_lemma@mail.ru

<http://www.lemaprint.ru>